

模糊理論應用於馬達控制器之研究與設計

林英智、胡永柟

E-mail: 9314916@mail.dyu.edu.tw

摘要

近幾年來，世界各國（尤其歐、美、日）對線性馬達的研究都投入大量的人力、物力時間和金錢，希望能利用線性馬達的特性如高精密度定位、高響應度、直接驅動等，取代傳統滾珠導螺桿的間接傳動。而我國目前亦積極對線性馬達投入人力、物力及金錢之研發，希望藉以提高國內基礎工業技術水平，進而廣泛地應用於生產製造、工具機、搬運等。本論文研究重點首在於利用系統鑑別求出線性馬達之轉移函數，以MAYLAB / SIMULINK設計其控制器，並使用四軸D / A介面卡來實現各種控制法則，最後在比較各種控制特性及優缺點，以發揮線性馬達高速高精密的運動特性。

關鍵詞：線性馬達；控制器；控制法則；系統鑑別

目錄

目錄封面內頁簽名頁授權書.....	iii	中文摘要.....	iii
..... v 英文摘要.....	vi	..... vi 誌謝.....	vi
..... vii 目錄.....	viii	..... viii 圖目錄.....	viii
..... xi 表目錄.....	xv	..... xv 第一章 緒論.....	xv
..... 1 1.1 研究動機與目的.....	1	..... 1 1.2 系統架構與研究步驟.....	1
..... 2 1.3 論文內容大綱.....	5	..... 5 第二章 線性馬達原理介紹.....	5
..... 6 2.1 線性馬達之發展史.....	6	..... 6 2.2 線性馬達簡介.....	6
..... 6 2.3 線性馬達分類.....	9	..... 9 2.4 線性直流無刷馬達.....	10
..... 6 2.4 線性馬達數學模式之建立.....	13	..... 13 第三章 模糊控制器.....	17
..... 17 3.1 模糊控制器簡介.....	17	..... 17 3.2 模糊控制器之設計.....	18
..... 19 3.3 模糊控制器歸屬函數之設計.....	22	..... 22 3.4 模糊控制法則之設計.....	23
..... 23 3.5 模糊控制器之實現.....	24	..... 24 3.6 模糊控制器之實現.....	25
..... 25 3.7 模糊控制器之實現.....	38	..... 38 第四章 控制器之設計.....	39
..... 39 4.1 控制器簡介.....	39	..... 39 4.2 PID控制器.....	39
..... 39 4.2.1 前濾波步階PID控制器之設計與模擬.....	46	..... 46 4.2.2 前濾波步階PID控制器之實現與結果.....	46
..... 46 4.3 軌跡規劃.....	52	..... 52 4.4 強健PID控制器.....	57
..... 57 4.4.1 強健前濾波步階PID控制器之設計與實現.....	57	..... 57 4.4.2 強健前濾波斜坡PID控制器之設計與實現.....	64
..... 64 4.5 死擊控制器.....	66	..... 66 4.5.1 死擊控制器之設計與模擬.....	66
..... 66 4.5.2 死擊控制器之實現.....	70	..... 70 4.6 前饋PID控制器.....	72
..... 72 4.6.1 前饋PID控制器之設計與模擬.....	72	..... 72 4.6.2 前饋PID控制器之實現.....	77
..... 77 4.7 控制器之比較與結論.....	78	..... 78 第五章 結論.....	81
..... 81 參考文獻.....	83	..... 83 圖目錄.....	83
..... 83 圖1.1 線性馬達硬體架構圖.....	4	..... 4 圖1.1 線性馬達架構圖.....	4
..... 4 圖2.1 線性馬達應用範圍.....	6	..... 6 圖2.2 旋轉馬達與線性馬達比較圖.....	7
..... 7 圖2.3 線性馬達之分類.....	10	..... 10 圖2.4 雙側式永磁式線性直流無刷馬達結構.....	11
..... 11 圖2.5 永磁式線性直流無刷馬達定部磁時排列示意圖.....	11	..... 11 圖2.6 線性直流無刷馬達特性推導示意圖.....	12
..... 12 圖2.7 永磁式線性直流無刷馬達等效電路圖.....	14	..... 14 圖2.8 永磁式直流無刷線性馬達方塊路圖.....	16
..... 16 圖3.1 模糊控制器之基本架構.....	19	..... 19 圖3.2 (a) 線性馬達步階響應位移特性.....	20
..... 20 圖3.2 (b) 線性馬達步階響應誤差特性.....	20	..... 20 圖3.2 (c) 線性馬達步階響應微分特性.....	21
..... 21 圖3.2 (d) 線性馬達步階響應電壓特性.....	21	..... 21 圖3.3 吊鐘型歸屬函數示意圖.....	22
..... 22 圖3.4 三角形歸屬函數示意圖.....	23	..... 23 圖3.5 高分辨率與低分辨率歸屬函數示意圖.....	26
..... 26 圖3.6 (a) 輸入變數誤差之歸屬函數圖.....	26	..... 26 圖3.6 (b) 輸入變數誤差微分歸屬函數圖.....	26
..... 26 圖3.6 (c) 模糊控制電壓命令輸出歸屬函數圖.....	26	..... 26 圖3.7 計算三角形歸屬函數對應之歸屬度.....	32
..... 32 圖3.8 MATLAB FUZZY Toolbox之模糊集合偵錯圖.....	33	..... 33 圖3.9 MATLAB FUZZY Toolbox之模糊推論三度空間圖.....	34
..... 34 圖3.10 (a) 模糊控制器在命令為10mm之步階響應位移圖.....	34	..... 34 圖3.10 (b) 模糊控制器在命令為10mm之步階響應位移誤差圖.....	34

.....	35	圖3.10 (c) 模糊控制器在命令為10mm步階響應之控制 電壓輸出響應圖.....	36
.....	35	圖3.11 (a) 模糊控制器在振幅為10mm、頻率5Hz正弦 命令響應之位移.....	36
圖3.11 (b) 模糊控制器在振幅為10mm、頻率5Hz正弦 命令響應之位移誤差.....	36	圖3.11 (c) 模糊控制器在振幅為10mm、頻率5Hz正弦 命令響應之速度.....	37
.....	37	圖3.11 (d) 模糊控制器在振幅為10mm、頻率5Hz正弦 命令響應之控制電壓輸出.....	37
.....	38	圖4.1 傳統控制系統方塊圖.....	43
.....	43	圖4.1 (a) 傳統控制系統方塊圖.....	43
.....	43	圖4.1 (b) 線性馬達前濾波PID控制系統方塊圖.....	43
之SIMULINK模擬程式.....	45	圖4.2 前饋波步階PID控制器之SIMULINK模擬程式.....	45
圖4.3 前濾波步階PID控制器閉迴路系統波德圖.....	45	圖4.4 加前濾波器PID控制器與未加之模擬比較圖.....	46
圖4.5 數位前饋波步階PID控制器之SIMULINK模擬程式.....	47	圖4.6 前濾波步階PID控制器之步階響應模擬與實驗比較圖.....	48
圖4.7 前濾波斜坡PID控制器閉迴路系統波德圖.....	50	圖4.8 前濾波斜坡PID控制器在振幅10mm、頻率5Hz修正式梯形波命令響應.....	51
圖4.9 修正梯形波位置命令方程式之產生.....	53	圖4.10 修正梯形波位置命令.....	53
.....	53	圖4.11 前濾波步階PID控制器在振幅15mm、頻率5Hz之修正式梯形波命令響應.....	54
.....	54	圖4.12 MATLAB/SIMULINK之NCD設計環境.....	55
圖4.13 前濾波步階PID控制器在振幅15mm、頻率5Hz之修正式梯形波命令響應.....	56	圖4.14 前濾波步階PID控制器在負載0.8Kg、振幅15mm、頻率5Hz之修正式梯形波命令響應.....	56
.....	58	圖4.15 受控體參數變化下系統的步階響應圖.....	58
圖4.16 受控體參數變化時其極點的變化區域(s-domain).....	58	圖4.17 利用閉迴路步階響應求取受控體的數學模式.....	60
圖4.18 (a) 強健前濾波步階PID控制器之實控結果(一).....	61	圖4.18 (b) 強健前濾波步階PID控制器之實控結果(二).....	61
圖4.18 (c) 強健前濾波步階PID控制器之實控結果(三).....	62	圖4.19 強健前濾波步階PID控制器於負載0.8Kg之實控結果.....	62
圖4.20 (a) 強健前濾波斜坡PID控制器在振幅15mm、頻率5Hz修正式梯形波命令響應.....	64	圖4.20 (b) 強健前濾波斜坡PID控制器在振幅15mm、頻率5Hz修正式梯形波命令響應.....	65
圖4.20 (c) 強健前濾波斜坡PID控制器在振幅15mm、頻率5Hz修正式梯形波命令響應.....	65	圖4.21 強健前濾波斜坡PID控制器在負載0.8Kg、振幅15mm、頻率5Hz修正式梯形波命令響應.....	66
圖4.22 死擊控制器步階響應示意圖.....	67	圖4.23 死擊控制器閉迴路系統波德圖.....	70
圖4.24 死擊控制器步階響應之模擬與實驗比較圖.....	71	圖4.25 前饋PID控制系統方塊圖.....	73
圖4.26 前饋PID控制器之SIMULINK模擬.....	76	圖4.27 前饋PID控制器閉迴路系統波德圖.....	77
圖4.28 前饋PID控制器步階響應模擬與實驗比較圖.....	78	表目錄 表1.1 線性馬達驅動器特性表.....	5
表3.1 模糊控制法則表.....	31	表4.1 依ITAE準則所得步階命令之閉路系統特徵方程式 參數對照表.....	41
表4.2 加前濾波器與未加之步階PID控制器特性比較表.....	46	表4.3 依ITAE準則所得斜坡命令之閉路系統特徵方程式 參數對照表.....	49
表4.4 長期記錄40組步階響應曲線的最大超越量 與 上升時間 統計表.....	63	表4.5 40組步階響應所對應的 與 變化統計表.....	63
表4.6 死擊控制器步階響應之最佳係數表.....	69	表4.7 (a) 各控制器優點比較表.....	79
表4.7 (b) 各控制器優點比較表.....	79	.....	80

參考文獻

- [1] A.Basak, "Permanent Magnet dc, Linear Motor", Oxford University Press, 1996.
- [2] C.W. Green and R.J. Paul, "Application of dc linear machines as short-stroke and Static actuators", Proc. IEE, Vol.116, No.4, 1969, pp.599-604.
- [3] A. Basak, and A. F. Flores-Filho, "Static and Dynamic Characteristics of a Double Armature.DC Linear Motor", IEE Japan, Vol.118-D No.9, '98, pp:1050-1055.
- [4] 許中平、黃煌嘉, "線性伺服電動機", 全華科技圖書, 1989.
- [5] 桂人傑, "明日之星-線性伺服系統", 機械工業雜誌, 1998年4月, pp.156-129.
- [6] 林義讓, "線性搬運技術與應用", 全華科技圖書股份有限公司, 台北, 台灣, 1995.
- [7] 廖聰明, "線性馬達於產業應用之分析", 工業技術研究院委託學術機構研究期末報告, 1998.
- [8] 陳秋麟譯, "電機機械基本原理"。美商麥格羅·希爾國際股份有限公司, 台北, 台灣, 1995.
- [9] Li-Xing Wang, "A Course in Fuzzy Systems and Control", Prentice Hall PTR, 1997.
- [10] 楊英魁博士校閱, 中國生產力中心技術引進服務組編譯, "Fuzzy Control", "Fuzzy理論與應用實務", 全華科技圖書股份有限公司, 台北, 台灣, 1991.
- [11] 孫宗瀛 楊英魁, 中國生產力中心技術引進服務組編譯, "Fuzzy 控制", 全華科技圖書股份有限公司, 台北, 台灣。
- [12] 楊英魁博士校閱, 中國生產力中心技術引進服務組編譯, "Fuzzy 實用化範例-用C語言" 全華科技圖書股份有限公司, 台北, 台灣。

- [13] 洪錦魁, “ Turbo C 入門與應用徹底剖析 ”, 文魁資訊股份有限公司, 1998.
- [14] Benjamin C. Kuo and Jacob Tal, “ DC Motors and Control Systems ”, SRL Publishing Company, 1978.
- [15] Richard C. Dorf and Robert H. Bishop, “ Modern Control Systems ”, Addison-Wesley,1998.
- [16] 胡永柵, “ 自動控制 ”, 全華科技圖書股份有限公司, 台北, 台灣, 1996.
- [17] 張碩, “ 自動控制 ”, 四版, 鼎茂圖書出版有限公司, 台北, 台灣, 1997.
- [18] 桂人傑, “ 現代交流伺服產品控制技術 ”, 機械工業雜誌, 1998年 4月, pp.168-179.
- [19] 何丕倫, “ 工業控制器定位控制原理及應用技術 ”, 機械工業雜誌, 1995年4月, pp.113-127.
- [20] 杜光宗, “ 控制馬達的應用 ”, 建宏出版社, 台北, 台灣, pp.241-247, 1991.
- [21] Ogata, K., “ Designing Linear Control Systems with MATLAB ”, Englewood Cliffs, N.J, Prentice Hall, 1987.
- [22] William S. Levine, “ Using MATLAB to Analyze and Design Control Systems ”, Cummings Publishing Company, Inc, 1995.
- [23] 薛定宇, “ 控制系統計算機輔助設計-MATLAB語言及應用 ”, 凡異出版社, 新竹, 台灣, 1996.
- [24] Ogata, K., “ Discrete-Time Control Systems ”, Englewood Cliffs, N.J, Prentice Hall, 1987.
- [25] 胡永柵, “ 數位控制 ”, 全華科技圖書股份有限公司, 台北, 台灣, 1997.